

50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau
von Makro bis Nano /
Mechanical Engineering
from Macro to Nano**

Proceedings

Fakultät für Maschinenbau /
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

Impressum

Herausgeber:	Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
Redaktion:	Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten Andrea Schneider Fakultät für Maschinenbau Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß, Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges, Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer, Dipl.-Ing. Silke Stauche
Redaktionsschluss: (CD-Rom-Ausgabe)	31. August 2005
Technische Realisierung: (CD-Rom-Ausgabe)	Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau Dipl.-Ing. Christian Weigel Dipl.-Ing. Helge Drumm Dipl.-Ing. Marco Albrecht
Technische Realisierung: (Online-Ausgabe)	Universitätsbibliothek Ilmenau ilmedia Postfach 10 05 65 98684 Ilmenau
Verlag:	 Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V. Werner-von-Siemens-Str. 16 98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe):	3-932633-98-9	(978-3-932633-98-0)
ISBN (CD-Rom-Ausgabe):	3-932633-99-7	(978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:
<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

V. Geinitz / K. Liebermann / P. Beyer / M. Weiß

Einfluß der End- und Übergangswindungen auf Funktion, Fertigung und Betriebsverhalten von Schraubendruckfedern

Abstract

An das Konstruktionselement Schraubendruckfeder werden von seiten der Anwender zunehmend erhöhte Anforderungen gestellt, die vor allem die Genauigkeit der Einhaltung von Funktion und Gestalt der Federn betreffen. Dabei spielt die Gestalt der End- und Übergangswindungen für qualitativ hochwertige Federn eine wichtige Rolle, beeinflussen sie doch die Schiefstellung und die Kennlinie der Schraubendruckfeder bzw. die Federrate R und außerdem den Querkraftverlauf und das Dauerschwingverhalten. Für die Fertigung der Übergangswindungen existieren keinerlei genormte Vorgaben. Sie sind vom Federhersteller frei wählbar und werden deshalb in den meisten Fällen für den sogenannten Fertigungsausgleich genutzt [1],[2].

Im folgenden werden sowohl die unterschiedlichen Parameter, die die Gestalt der End- und Übergangswindungen beschreiben, vorgestellt als auch die Untersuchungen zur Ermittlung ihres Einflusses auf die verschiedenen Federfunktionen.

Vorgehensweise

Als wesentliche Voraussetzungen für die Durchführung von Untersuchungen, die den Zusammenhang zwischen der Gestaltung der End- und Übergangswindungen und der Federfunktion bzw. ihrem Betriebsverhalten beschreiben, benötigt man die Definition von Parametern zur Beschreibung der End- und Übergangswindungen (Tabelle 1) sowie ein Messsystem mit entsprechender Auswertesoftware, mit dem der Windungsverlauf der Schraubenfedern mit der notwendigen Genauigkeit und Schnelligkeit bestimmt werden kann. Zu dem Zweck wurde ein Bildverarbeitungsmessplatz (Bild 1) konzipiert und aufgebaut, der eine automatisierte Messung des Windungsverlaufes gestattet. Der Messplatz besteht aus Zeilenkamera (Messen des Windungsverlaufs → Berechnen der Schiefstellungsparameter), Matrixkamera (Messen des Windungsdurchmessers D), verschieb- und drehbarem Dorn zur Federaufnahme und Beleuchtungseinrichtungen für beide Kameras und verwirklicht eine Messgenauigkeit von $\pm 0,05$ mm. Die Auswertung der Messergebnisse und die Berechnung der Schiefstellungsparameter erfolgen vollautomatisch.

Tabelle 1: Einflussgrößen bei der Herstellung der End- und Übergangswindungen [1]

Einflussgrößen Federparameter	Einflussgrößen Technologieparameter
Anzahl der Endwindungen $n_{\text{fest st}}$	Verwendetes Steigungswerkzeug: Keil / Finger
Gesamtwindungszahl $n_{\text{t st}}$	Funktion des Auf-Steigung-Gehens: Linear / quadratisch / Wurzelfunktion, bi-linear / tri-linear
Anzahl der Übergangswindungen $n_{\text{ü st}}$	Fertigungsschritt. Rohfeder (A); angelassene Feder (B); gesetzte Feder (C); angeschliffene Feder (D); kugelgestrahlte Feder (E)
Anzahl der Windungen mit konstanter Steigung (Nennsteigung) im Federmittelteil $n_{\text{konst st}}$	
Nennsteigung m	
Anschliff	
Vorspannung in den Endwindungen	

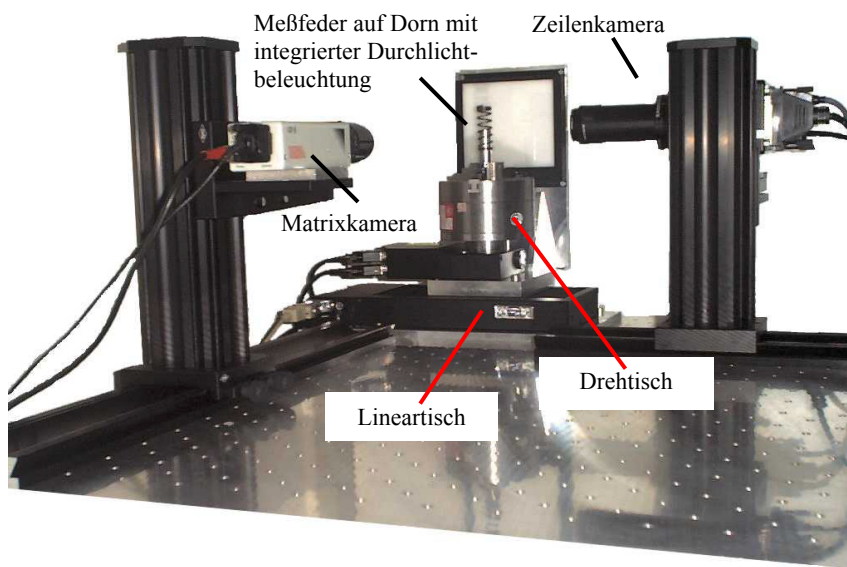


Bild 1: Bildverarbeitungsmessplatz zur Bestimmung der Geometrieparameter von Schraubenfedern [2]

Für die verschiedenen Versuche wurden zylindrische Schraubenfedern hergestellt, bei denen die Anzahl der Übergangswindungen, die Gesamtwindungszahl, die Art des Auf-Steigung-Gehens und das verwendete Steigungswerkzeug variiert wurden. Die Versuchsfedern waren spannungsmäßig so ausgelegt, dass bei maximaler Belastung kleine, deutliche bzw. große Setzbeträge beim Arbeitsgang Vorsetzen auftraten (τ / R_m – Verhältnis für die Rohfedern = 0,56 / 0,8 / 1,0).

Weiterhin ist es notwendig, auch den Einfluss der dem Winden nachgelagerten Fertigungsschritte Anlassen, Setzen und Schleifen auf obige Federparameter in die Untersuchungen mit einzubeziehen.

Alle Versuchsfedern wurden mit folgenden Parametern gefertigt:

- Drahtmaterial: FD SiCr; VD SiCr (Dauerschwinguntersuchungen);
- Drahtdurchmesser $d = 2 \text{ mm}$;
- Wickelverhältnis $w = 9$ (Windungsdurchmesser $D = 18 \text{ mm}$; Stichprobenversuche $w = 5$);

In den Untersuchungen wurden folgende Federeigenschaften ermittelt und ausgewertet:

- der Schiefstellungswinkel β , aus dem bei Kenntnis von L_0 das Schiefstellungsmaß $e_{1 \text{ vorh}}$ bestimmt werden kann (Bild 2);
- der Richtungswinkel γ gibt die Lage an, in der die Federachse der Endwindung gegenüber der Achse des Federmittelteils wegkippt. Bezugspunkt: Drahtanfang der Feder (Bild 2);
- Beginn der Übergangswindung (Größe der Endwindung);
- der Querkraftverlauf;
- der Federratenverlauf sowie
- das Dauerschwingverhalten.

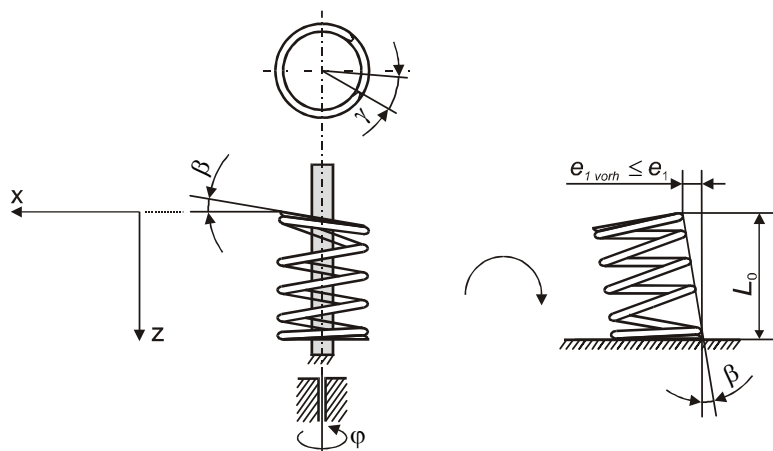


Bild 2: Geometrische Größen für die Beschreibung der Schiefstellung einer geschliffenen Endwindung

Der Beschreibung des Windungsverlaufes wird ein Zylinderkoordinatensystem (R, φ, z) zugrunde gelegt (Bild 2). Der Drahtanfang in der R - φ -Ebene liegt bei $z = 0$. Ausgehend vom Drahtanfang wird der als Drehwinkel bezeichnete Winkel φ gezählt. Beim Vermessen der Federn erhält man Werte für z in Abhängigkeit von φ und damit eine Angabe $z(\varphi)$ für die Höhe des jeweils betrachteten Drahtpunktes über der Aufstandsfläche x - y . Der Windungsverlauf $z(\varphi)$ im Bereich der End- und Übergangswindungen sowie im Mittelteil einer ideal gewundenen Feder $z(\varphi)$ ist im Bild 4 dargestellt. Beim Vermessen einer realen Feder mittels Bildverarbeitungsmessplatz (Bild 1) erhält man dagegen Kurven $z(\varphi)$, wie sie Bild 5 zeigt.

Beim Vergleich der Kurven in Bild 3 und Bild 5 fällt der sinusförmige Verlauf der realen Messwertkurve auf. Er ergibt sich, wenn die Enden der Feder schief gewunden sind. Damit stimmt die Achse der Endwindungen nicht mit der Achse des mittleren Federabschnittes überein. Die Lage der Achsen der Endwindungen und des mittleren Federabschnittes zueinander können durch den Schiefstellungswinkel β und den Richtungswinkel γ beschrieben werden. Sie lassen sich mit Näherungsfunktionen aus

dem sinusförmigen Verlauf ermitteln. Hierfür wurden zur automatischen Messwertauswertung zwei Möglichkeiten entwickelt.

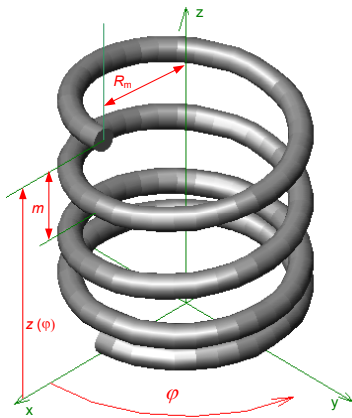


Bild 3: Koordinatensystem zum Bestimmen des Windungsverlaufes

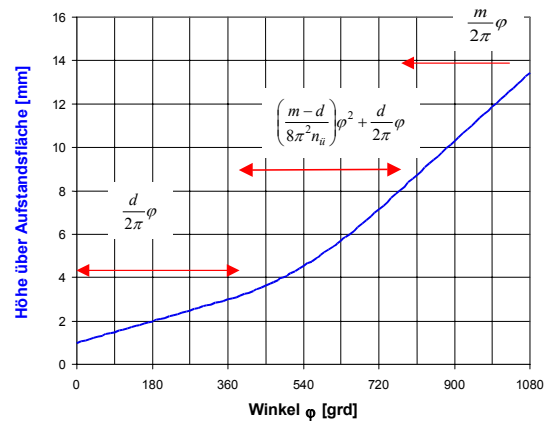


Bild 4: Idealer Windungsverlauf

Versuchsergebnisse

Unterscheidung von innerer und äußerer Schiefstellung. In nahezu allen Versuchsserien wird der Einfluss der einzelnen Fertigungsschritte der Federherstellung auf die Federparameter untersucht. Neben dem Winden, Anlassen und Vorsetzen wird auch das Anschleifen berücksichtigt. Daher wird zwischen „innerer“ und „äußerer“ Schiefstellung unterschieden. Sie sind so definiert, dass die Drahtseite, die am Federende angeschliffen werden kann, als „außenliegend“ und die andere Drahtseite als „innenliegend“ bezeichnet wird. Für beide Drahtseiten lassen sich Schiefstellungswinkel β und Richtungswinkel γ angeben. Bei nicht angeschliffenen Federn sind diese Parameter für beide Drahtseiten jeweils identisch (Bild 5), bei angeschliffenen Federn unterscheiden sie sich fast immer (Bild 6). Ist eine Feder nach dem Vorsetzen schief und besitzt somit eine „innere“ Schiefstellung, so kann dies durch den Anschliff **nicht** korrigiert werden. Anschleifen verändert nur die „äußere“ Schiefstellung. Es ist möglich, durch Anschleifen eine optisch gerade wirkende Feder (e_1 -Maß) zu erzeugen, aber nur mit einem zur Endwindung nicht senkrechten und damit nicht gleichmäßigen Anschliff.

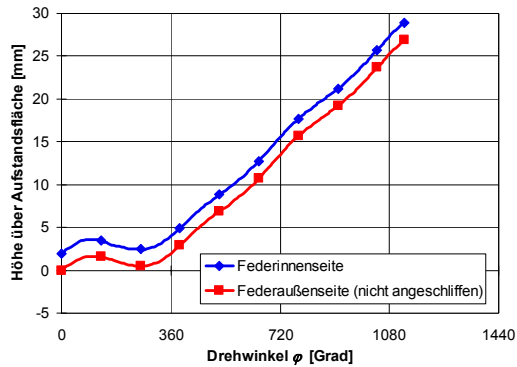


Bild 5: Gemessene Höhe über der Aufstandsfläche für eine nicht angeschliffene Feder

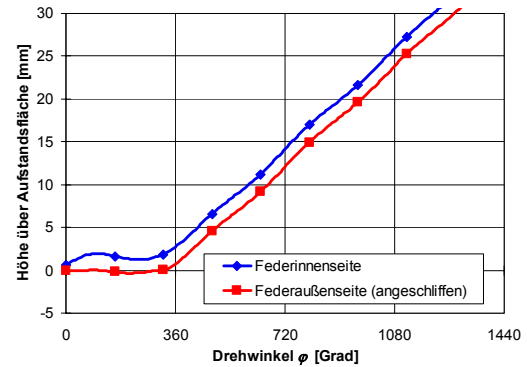


Bild 6: Gemessene Höhe über der Aufstandsfläche für eine angeschliffene Feder

Einfluss der Übergangswindungszahl $n_{\bar{u}}$ auf die Federparameter bei linearer Bewegungsfunktion für das Steigungswerkzeug. In einem Großteil der Versuche wurde das Steigungswerkzeug über eine lineare Bewegungsfunktion angesteuert, mittels derer das Steigungswerkzeug mit konstanter Geschwindigkeit bewegt wird. Bei den Untersuchungen ergab sich eine Diskrepanz zwischen programmierter Anzahl der Übergangswindungen und tatsächlicher, an der Feder feststellbaren Windungszahl. Nachfolgend ist daher unter Übergangswindungszahl immer die programmierte Windungszahl zu verstehen.

In einer Versuchsuntergruppe wurde die Übergangswindungszahl im Bereich von $0,7 \leq n_{\bar{u}} \leq 1,4$ variiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass keilgefertigte Federn im Gegensatz zu fingergefertigten Federn Unterschiede in der Schiefstellung von Federanfang und Federende aufweisen. Die geringste „innere“ Schiefstellung wird bei einer Übergangswindungszahl von $n_{\bar{u}} \approx 1,1$ erreicht (Bild 7). Schiefstellungswinkel $\beta = 0^\circ$ sind nicht erzielbar (Bild 7 und Bild 8). Vorsetzen führt stets zur Vergrößerung der Schiefstellung der Feder. Anlassen hingegen besitzt nahezu keinen Einfluss auf die Schiefstellungsparameter (Bild 8). Das τ / R_m – Verhältnis beeinflusst hauptsächlich den minimal erreichbaren Wert β_{\min} des Schiefstellungswinkels (Bild 9).

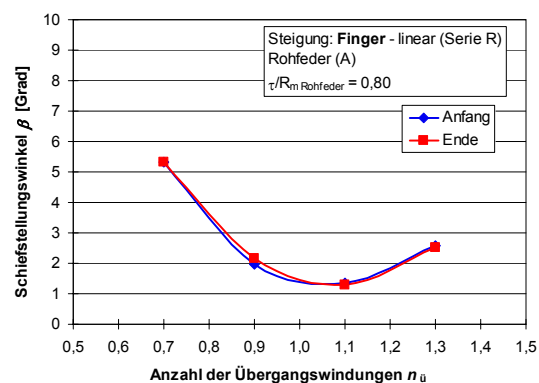
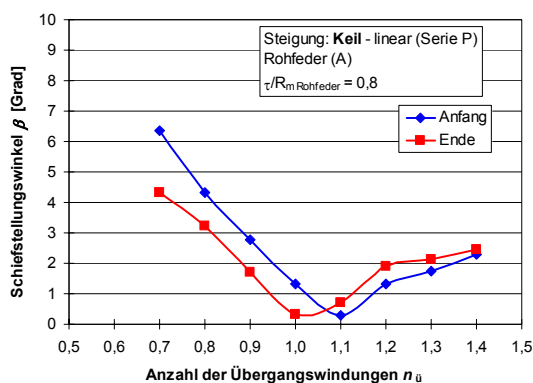


Bild 7: Schiefstellungswinkel β an Federanfang und –ende in Abhängigkeit $n_{\bar{u}}$

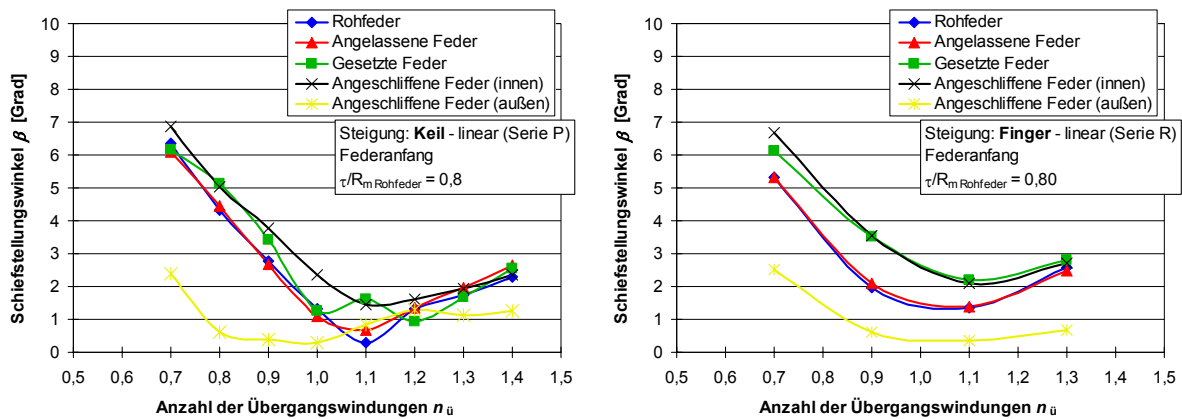


Bild 8: Schiefstellungswinkel β am Federanfang in Abhängigkeit von $n_{\bar{u}}$

Federn mit geringer Schiefstellung ($n_{\bar{u}} = 1,1$) weisen bezüglich Querkraftverlauf (Bild 10) sowie Federratenverlauf (Bild 11) keine deutlich besseren Eigenschaften als Federn mit anderen Übergangswindungszahlen und größerer Schiefstellung auf. Ihr Vorteil liegt im gleichmäßigen Anschliffbild (Bild 13).

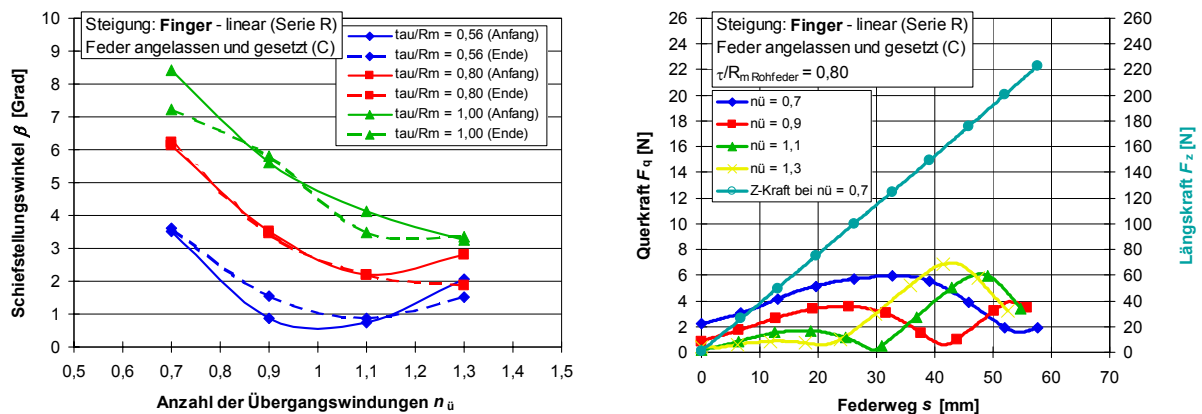


Bild 9: Schiefstellungswinkel β fingergefertiger Federn in Abhängigkeit von der Übergangswindungszahl $n_{\bar{u}}$ und vom τ/R_m - Verhältnis

Bild 10: Querkraft F_q nicht angeschliffener Federn in Abhängigkeit vom Einfederungsweg s und der Übergangswindungszahl $n_{\bar{u}}$

Federn mit großem τ/R_m - Verhältnis besitzen neben erhöhtem Energiespeichervermögen auch eine relativ konstante Federrate über einen großen Einfederungsbereich. Diese Eigenschaft wird an Federn mit kleinen Übergangswindungszahlen noch verstärkt (Bild 12). Allerdings haben diese Federn eine große innere Schiefstellung und damit ein schlechtes Anschliffbild (Bild 13).

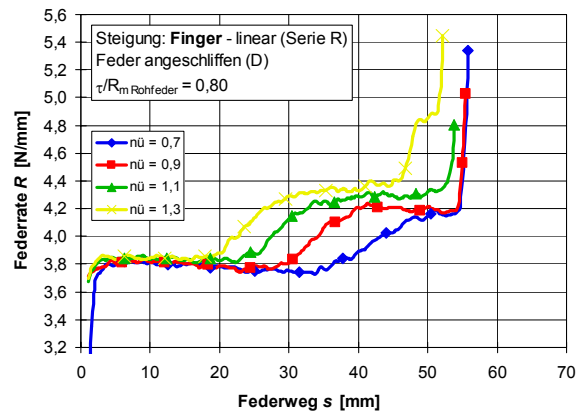
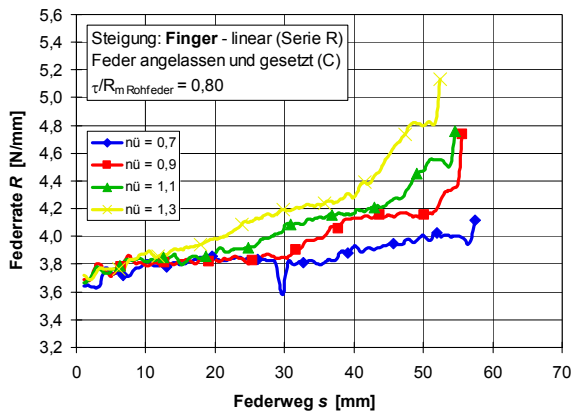


Bild 11: Federrate R und Federratenverlauf nicht angeschliffener und angeschliffener fingergefertigter Federn mit einer Gesamtwindungszahl $n_t = 8,5$ in Abhängigkeit von $n_{\bar{u}}$

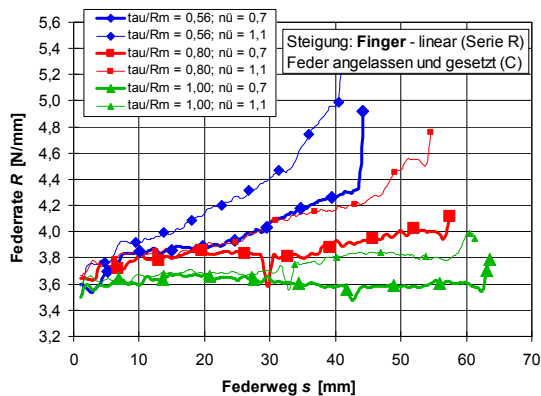


Bild 12: Federrate und Federratenverlauf fingergefertigter, nicht angeschliffener Federn in Abhängigkeit von τ/R_m und $n_{\bar{u}}$

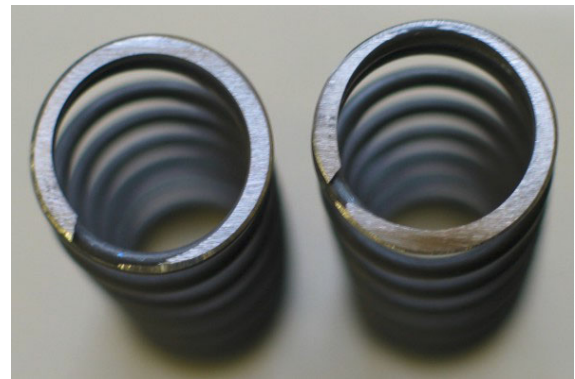


Bild 13: Anschliffbeispiele für Federn mit minimaler und größerer Schiefstellung

Einfluss tri-linearer Bewegungsfunktionen auf die Schiefstellung von Federn. Mit linearen Bewegungsfunktionen zum Verfahren des Steigungswerkzeugs lassen sich keine Federn fertigen, die vor dem Anschleifen exakt gerade sind. Um dieses Problem zu lösen, wurden durch systematische Untersuchung unterschiedlicher Bewegungsabläufe zur Steigungserzeugung sowie ihrer Auswirkungen auf die Schiefstellung auch sogenannte tri-lineare Bewegungsfunktionen zur Ansteuerung des Steigungskeilantriebs entwickelt. Wie Bild 14 zeigt, wird es damit möglich, auch bei kleinen Übergangswindungszahlen Federn mit geringer Schiefstellung herzustellen. Durch Optimierung des zugrunde gelegten Modells des Windeprozesses ist eine weitere Reduzierung der Schiefstellung erreichbar.

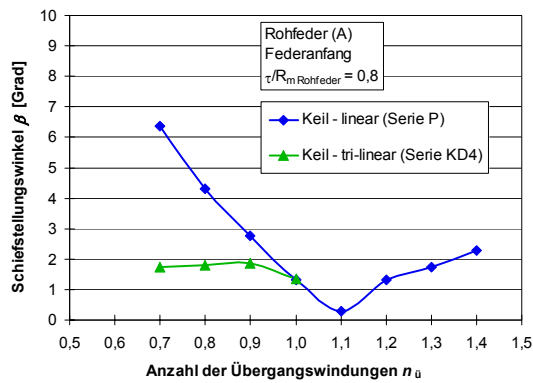


Bild 14: Vergleich der erreichbaren Schiefstellungswinkel β an Rohfedern in Abhängigkeit von der Übergangswindungszahl $n_{\bar{u}}$ bei Verwendung einer linearen oder tri-linearen Bewegungsfunktion für den Steigungskeil

Einfluss der Gesamtwindungszahl n_t auf die Federparameter. Weitere Versuchsreihen untersuchten den Einfluss der Gesamtwindungszahl n_t auf die Schiefstellungsparameter, die Querkraft bzw. den Querkraftverlauf sowie auf die Federrate bzw. den Federratenverlauf.

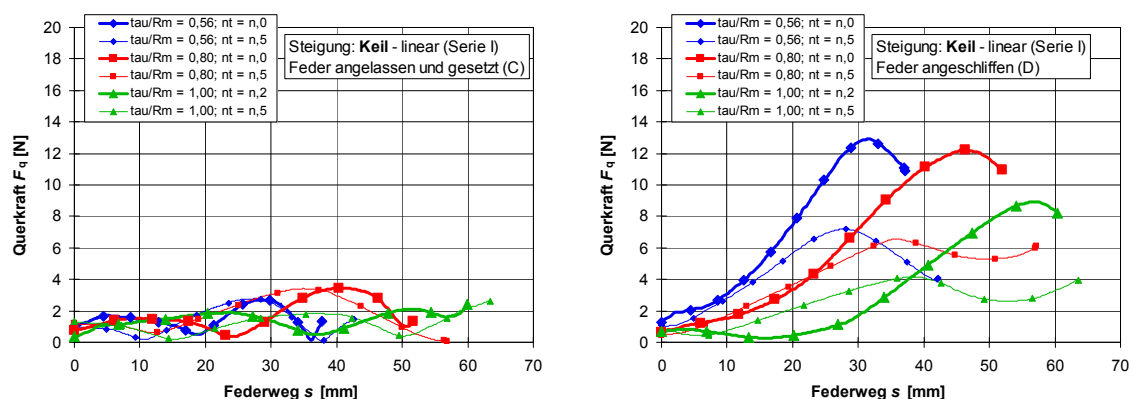


Bild 15: Querkraft F_q und Querkraftverlauf an nicht angeschliffenen und angeschliffenen keilgefertigten Federn mit $n_{\bar{u}} = 1,1$ in Abhängigkeit vom τ / R_m - Verhältnis und von n_t

Im Gegensatz zur Versuchsreihe, in der die Übergangswindungszahl $n_{\bar{u}}$ variiert wurde, zeigt sich hier u.a. ein deutlicher Einfluss des Anschliffs auf die Größe der Querkraft (Bild 15). Das resultiert daraus, dass sich durch die Variation der Windungszahl im Federmittelteil die Lage der Übergangswindungen zueinander und damit auch die Richtung des Querkraftvektors ändert. Bei angeschliffenen Federn, die auf eine halbe Windung enden (Gesamtwindungszahl $n_t \approx n,5$), treten geringere Querkräfte als bei Federn auf, die auf eine ganze Windung enden ($n_t = n,0$). Das τ / R_m - Verhältnis besitzt kaum Einfluss auf die Querkraft bzw. den Querkraftverlauf.

Einfluss der Gestalt der End- und Übergangswindungen auf das Dauerschwingverhalten. Bei diesen Untersuchungen sollten Antworten auf folgende zwei Fragestellungen gegeben werden:

- Welchen Einfluss hat die Gestalt der End- und Übergangswindungen, d.h. wie wirken sich die Schiefstellung von Federn und verschiedene Querkraftverläufe auf das Dauerschwingverhalten aus?
- Welches Ausfallverhalten besitzen Federn mit großem Energiespeichervermögen ($\tau / R_m > 0,56$) ?

In umfangreichen Versuchen wurden Wöhlerlinien (Bild 16) ermittelt, aus denen sich folgende Aussagen zum Dauerschwingverhalten ergeben: Federn mit üblichem τ / R_m – Verhältnis ($\tau / R_m = 0,56$) und großer Schiefstellung weisen ein schlechteres Dauerschwingverhalten auf als gerade Federn, unabhängig davon, ob deren Übergangswindungen mit linearer oder tri-linearer Bewegungsfunktion gefertigt wurden. Bei größerem τ / R_m – Verhältnis verringern sich die Unterschiede im Dauerschwingverhalten gerader und schiefer Federn. Ursache hierfür sind die höheren Spannungen in der Feder, die das Ausfallen der Federn mehr beeinflussen als die Schiefstellung der Federenden. Dennoch weisen alle Federn eine deutlich bessere Lebensdauer auf, als es die Goodman-Diagramme der EN 13906-1 erwarten lassen. Für das verwendete Drahtmaterial ergibt sich außerdem eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Dauerfestigkeitsuntersuchungen an der TU Darmstadt [4]. Mit den vorgeschlagenen Verfahren lassen sich also dauerfeste gerade Schraubenfedern mit erhöhtem Energiespeichervermögen fertigen [3].

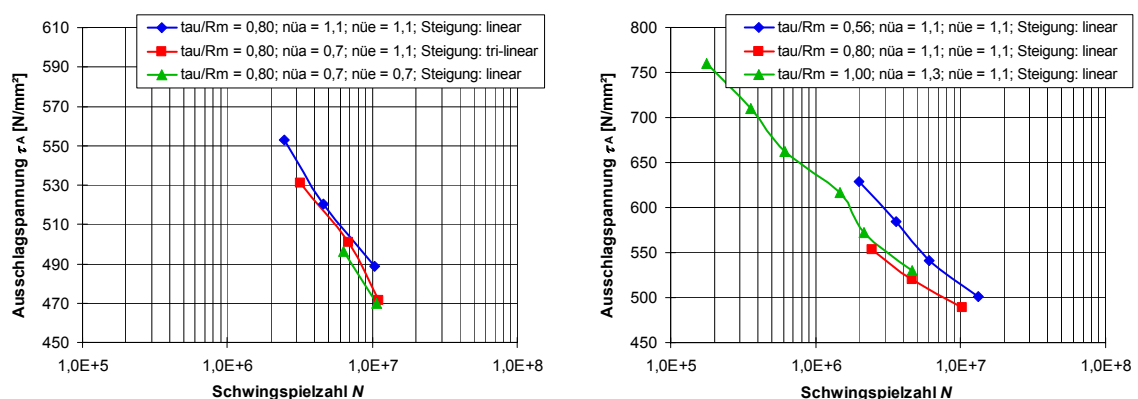


Bild 16: Dauerschwingverhalten keilgefertigter Federn in Abhängigkeit von n_u und vom τ / R_m – Verhältnis, (Wöhlerlinie für 50 % Überlebenswahrscheinlichkeit)

Ein größeres τ / R_m – Verhältnis beeinflusst das Dauerschwingverhalten zwar negativ, doch kommt es letztendlich auf den Anwendungsfall an, ob Federn mit einem großen τ / R_m – Verhältnis eingesetzt werden können. Soll beispielsweise für eine Feder mit vorgegebener Ausschlagsspannung τ_{kA} eine möglichst hohe Lebensdauer erreicht werden, kann das zur Wahl eines kleinen τ / R_m –

Verhältnisses führen. Andererseits ist es aber auch möglich, für eine maximal zu erreichende Schwingenzahl durchaus Federn mit größerem τ / R_m – Verhältnis zu fertigen, um damit das höhere Energiespeichervermögen auszunutzen.

Weitere Ergebnisse. Weitere ausgewählte Ergebnisse, die in den Zwischenberichten und im Abschlussbericht des Projektes [2] ausführlicher dargelegt werden, sind:

- Mit linearer Verfahrbewegung des Steigungskeiles lassen sich entweder nur Federn mit geringer Schiefstellung und progressivem Ratenverlauf oder Federn mit konstantem Ratenverlauf, aber großer Schiefstellung fertigen.
- Bei gleichgroß programmierter Endwindungszahl n_{fest} für Federanfang und –ende entsteht am Federanfang eine um 0,25 Windungen größere Endwindungszahl. Diese Differenz lässt sich durch unterschiedliche Programmierung der Endwindungszahlen n_{fest} vermeiden.
- Die Übergangswindungszahl hat sehr großen Einfluss auf die Federschiefstellung. Das bedeutet, dass bei Verwendung der Übergangswindungszahl zu Zwecken des Fertigungsausgleiches eine Beeinflussung von Federeigenschaften in Kauf genommen werden muss. Dies betrifft hauptsächlich die Größe des Schiefstellungswinkels β mit der Gefahr der Überschreitung von e_1 .
- Der Querkraftverlauf ist über den Federweg nicht konstant. So bilden sich z.B. Nulldurchgänge aus, die durch das Anlegen von Windungsteilen hervorgerufen werden. Ein zweiter Nulldurchgang ist allerdings erst bei Übergangswindungszahlen $n_{\text{ü}} > 1,0$ erreichbar. Dies ist zu beachten, falls zwei Arbeitspunkte einer Feder im Bereich geringer Querkräfte liegen sollen.
- Die Ergebnisse ermöglichen die Fertigung von Federn mit größerem τ / R_m – Verhältnis und damit größerem Energiespeichervermögen bei gleichzeitiger Einhaltung geforderter Qualitätsmerkmale, wie z.B. Federschiefstellung und Dauerschwingverhalten [3].

Zusammenfassung

Im vorliegenden Projekt wurde der Einfluss der End- und Übergangswindungen auf die Funktion und Fertigung sowie das Betriebsverhalten von Schraubendruckfedern untersucht. Dazu wurden umfangreiche Windeversuche durchgeführt und der Einfluss nachfolgender Fertigungsschritte intensiven Betrachtungen unterzogen. Damit die Auswirkungen der Feder-, Maschinen- und Technologieparameter auf die Federform, speziell den Windungsverlauf und die Schiefstellung der Federenden gegenüber dem Federkörper, ermittelt werden konnten, war der Aufbau eines leistungsfähigen

gen Bildverarbeitungsmessplatzes notwendig.

Die erreichten Ergebnisse zeigen, welchen Einfluss die Gestalt der End- und Übergangswindungen auf die Schiefstellungsparameter von Federn, auf ihre Querkraft bzw. den Querkraftverlauf sowie auf ihre Federrate bzw. den Federratenverlauf und auf das Dauerschwingverhalten besitzen. Weiterhin ermöglichen die Ergebnisse Aussagen zum Einfluss der Fertigungsschritte Anlassen, Setzen, Schleifen und Kugelstrahlen auf obige Federparameter bzw. auf das Federverhalten.

Für die verschiedenen Versuche wurden zylindrische Schraubenfedern hergestellt, bei denen die Anzahl der Übergangswindungen, die Gesamtwindungszahl, die Art des Auf-Steigung-Gehens (Bewegungsfunktionen zur Ansteuerung der Antriebe) und das verwendete Steigungswerkzeug (Steigungskeil oder -finger) variiert wurden. Die Versuchsfedern waren spannungsmäßig so ausgelegt, dass bei maximaler Belastung kleine, deutliche und große Setzbeträge beim Arbeitsgang Vorsetzen auftraten.

Somit liegen erstmals umfangreiche Erkenntnisse zur Gestaltung der End- und Übergangswindungen von kaltgeformten Schraubendruckfedern vor. Sie zeigen nicht nur Möglichkeiten zur qualitätsgerechten Fertigung von Federn mit höherem Energiespeichervermögen auf [3], sondern auch wie die End- und Übergangswindungen gefertigt werden müssen, um für eine gegebene Aufgabenstellung einen zweckmäßigen Querkraft- bzw. Federratenverlauf zu erzielen. Hierbei hat sich die Verwendung tri-linearer Bewegungsfunktionen zur Steuerung des Steigungswerkzeuges als besonders vorteilhaft erwiesen.

Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Geinitz, V.: Genauigkeits- und auslastungsoptimierte Schraubendruckfedern. Dissertation Ilmenau 2005
- [2] Schorcht, H.-J.; Weiß, M.; u.a.: Einflüsse der End- und Übergangswindungen auf Funktion, Fertigung und Betriebsverhalten von kaltgeformten Schraubendruckfedern. Abschlußbericht zum gleichn. AiF-Projekt 12573B, TU Ilmenau 2003
- [3] Schorcht, H.-J.; Weiß, M.; u.a.: Technologien zur Herstellung von Schraubendruckfedern mit höherem elastischen Formänderungsvermögen und verbessertem Setzverhalten. Abschlussbericht AiF-Forschungsthema 11170 B, TU Ilmenau 1999
- [4] Kaiser, B.; u.a.: Ermittlung von Dauerfestigkeits- und Relaxationsschaubildern für hochbeanspruchte Schraubendruckfedern. Abschlussbericht AiF-Forschungsthema 12 287 N, TU Darmstadt 2002

Autorenangabe(n):

Dr.-Ing. Veronika Geinitz

Dr.-Ing. Kersten Liebermann

Dipl.-Ing. Peter Beyer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Mathias Weiß

TU Ilmenau, Fachgebiete Rechneranwendung im Maschinenbau und Maschinenelemente

PF 100565, 98684 Ilmenau

Tel.: (03677) 4690 43

Fax: (03677) 4690 62

E-mail: veronika.geinitz@tu-ilmenau.de, kersten.liebermann@tu-ilmenau.de, peter.beyer@tu-ilmenau.de,
mathias.weiss@tu-ilmenau.de,